

논문 2004-41SP-5-8

플라즈마 디스플레이 패널에서 비접촉식 칼라 검사를 위한 칼라 보정 방법

(Color Compensation Method for Non-Contact Color Inspection on Plasma Display Panel)

도 현 철*, 김 우 섭***, 진 성 일**, 태 흥 식**

(Hyun-Chul Do, Woo-Seop Kim, Sung-Il Chien, and Heung-Sik Tae)

요 약

본 논문에서는 플라즈마 디스플레이 패널 생산 공정에서 카메라를 이용한 검사장비와 색차계를 이용한 검사장비 사이의 색차를 줄이기 위한 칼라 보정 방법을 제안한다. 칼라 보정 행렬은 두 장비에서 RGB 원색과 기준백색의 색도좌표로 획득한 RGB에서 XYZ 변환 행렬들 사이의 관계를 이용함으로써 구성할 수 있다. 제안한 칼라 보정 방법이 적용된 비접촉식 칼라 검사장비가 다양한 테스트 칼라에 대하여 영역 칼라 CCD 카메라에 의해 획득된 색도좌표를 색차계에 의해 측정된 색도좌표로 만족스럽게 보정됨을 실험결과에서 확인할 수 있다

Abstract

An efficient color compensation method is proposed to reduce the color difference between the camera based inspection system and the colorimeter based inspection system in a plasma display panel production line. The color compensation matrix can be constructed by using the relationship between RGB to XYZ conversion matrices, which are obtained by the RGB primaries and reference white chromaticity coordinates. Experimental results show that the non-contact color inspection system using the proposed color compensation method satisfactorily compensates the chromaticity coordinates acquired by the area color CCD camera to be matched to those measured by the colorimeter for various test color.

Keywords : 칼라 보정, 칼라 검사, 플라즈마 디스플레이 패널

I. 서 론

국내의 지상파 디지털 방송이 2001년 10월부터 시작됨과 더불어 각 가정에서는 디지털 방송의 새로운 서비스를 보다 실감나게 느끼기 위하여 대화면, 고화질의 디스플레이로써 대형 벽걸이 텔레비전의 대명사로 일컬어지는 플라즈마 디스플레이 패널(plasma display

panel; PDP)에 대한 기대가 한층 높아지고 있으며, PDP에 대한 수요도 증가하고 있다^[1]. 이러한 PDP의 수요 증가에 따라 생산 공정상에서 자동 검사장비의 중요성이 커지고 있다.

칼라 측정장비에는 광도계(photometer), 색차계(colorimeter), 분광방사계(spectroradiometer), 분광광도계(spectrophotometer) 등이 있다. PDP의 출력 칼라를 직접 측정하기 위한 접촉식 검사장비로는 색차계가 사용된다. 색차계는 3혹은 4개의 센서를 가지는데 이 센서들은 CIE 1931 칼라 매칭 함수와 비슷한 분광감도를 가짐으로써 휘도와 색도좌표를 측정할 수 있다^[2] 이러한 색차계를 이용한 자동 칼라 검사방법은 디스플레이 소자와 밀착함으로써 외부로부터 유입되는 빛을 차단한

* 학생회원, ** 정회원, 경북대학교 전자전기공학부 (School of Electronic and Electrical Engineering, Kyungpook National University)

*** 학생회원, 삼성전자 영상디스플레이사업부

(Samsung Electronics Visual Display Division)

※ 본 연구는 한국과학재단 지역협력연구센터(R12-2002-055-02002-0)지원으로 수행되었습니다.

접수일자: 2004년2월9일, 수정완료일: 2004년6월14일

다. 그러므로 측정 환경에 영향을 받지 않고 색도좌표를 획득할 수 있다. 그러나 색차계는 광학적 소자를 포함하므로 고가이며, 디스플레이 소자와의 기계적 밀착이 필요하므로 긴 검사시간이 요구된다. 그러므로 PDP의 출력 칼라를 효과적으로 검사하기 위한 저 비용, 고속의 검사방법이 필요하다. 이것은 저가의 영역 칼라 카메라를 이용한 비접촉식 검사장비로 구현이 가능하다. 획득 칼라 영상을 바탕으로 하는 비접촉식 칼라 검사장비는 PDP의 셀이 분리되지 않은 칼라 영상을 획득할 수 있도록 일정한 거리를 유지해야 하는데 이로 인하여 측정 환경에 영향을 받는다. 따라서 비접촉식 칼라 검사장비에 의해 획득된 색도좌표와 색차계에 의해 측정된 색도좌표 사이에는 색차가 발생한다. 그러므로 두 장비에서 발생한 색차를 보정할 수 있는 칼라 보정 방법이 필요하다. 칼라 보정 방법에 대한 기존의 연구는 CRT(Cathode Ray Tube)분야에서 수행되었으며 일반적으로 수치 해석적 방법을 이용하고 있다^[3-4]. 대표적인 방법은 최소 자승법을 이용한 방법이 있다. 하지만 이 방법은 높은 정확도를 가지기 위해 많은 데이터를 필요로 한다. 본 논문은 영역 칼라 CCD 카메라와 색차계로 이루어진 두 장비들 사이의 RGB에서 XYZ로 변환하는 관계를 이용하여 효과적인 칼라 보정 방법을 제안하였다. 칼라 보정을 위해 데이터는 적색, 녹색, 청색, 백색의 색도좌표만을 쌍으로 이용한다. 따라서 제안된 방법은 최소 자승법을 이용한 수치 해석적 방법에 비해 상대적으로 적은 데이터를 이용하면서도 높은 정확성을 가지는 비접촉식 칼라 검사 장비를 구현할 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 비접촉식 칼라 검사장비의 구성에 대하여 기술하고, III장에서는 비접촉식 칼라 검사장비에서 제안된 칼라 보정 방법에 대하여 자세히 서술한다. IV장에서는 Macbeth 시험 칼라에 대한 제안한 칼라 보정 방법과 최소 자승법의 보정 결과를 평가한다. 마지막으로 V장에서 결론을 맺도록 한다.

II. 비접촉식 칼라 검사장비 구성

PDP에 출력된 칼라의 색도좌표를 측정하기 위해 구성된 비접촉식 칼라 검사장비는 그림 1과 같은 구조를 가지며, PDP, 패턴 생성기, 영역 칼라 CCD 카메라, PC, 색차계로 구성된다. 패턴 생성기는 테스트 칼라를 PDP에 공급하게 되고, PDP에 출력된 테스트 칼라는 영역

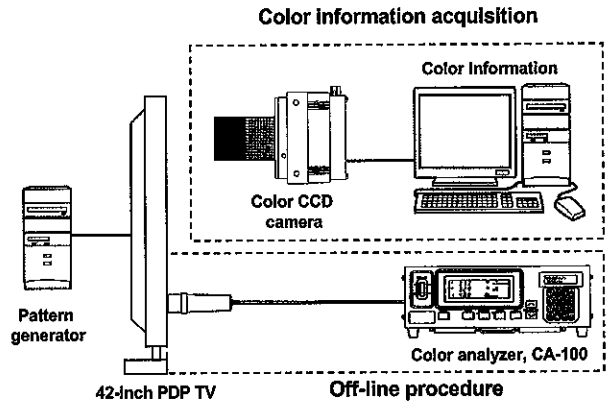


그림 1. 플라즈마 디스플레이 패널의 비접촉식 칼라 검사장비

Fig 1. Non-contact color inspection system on plasma display panel

칼라 CCD 카메라에 의해 칼라 영상으로 획득된다. 획득된 칼라 영상은 PC에 의해 색도좌표를 계산하고 칼라 보정 행렬이 적용된다. 실험을 위해서 42인치 상용 PDP와 BASLER A101fc 영역 칼라 CCD 카메라가 사용되었으며, 색차계로는 칼라 분석기(color analyzer) CA-100이 사용되었다.

III. 비접촉식 칼라 검사의 칼라 보정

본 논문에서 제안한 칼라 보정 행렬을 이용하여 PDP의 색도좌표를 측정하기 위한 전체 검사장비에 대한 블록도를 그림 2에 나타내었다. 검사장비는 영역 칼라 CCD 카메라를 이용하여 색도좌표를 획득하는 부분과 색차계를 이용하여 색도좌표를 측정하는 부분으로 나눌 수 있다. 그리고 두 장비에서 획득된 색도좌표를 이용하여 칼라 보정 행렬을 구성하는 과정과 칼라 보정 행렬을 영역 칼라 CCD 카메라의 출력에 적용하여 보정된 색도좌표를 계산하는 과정이 수행된다. 검사장비에서 칼라 보정 행렬은 오프라인(off-line) 작업으로 검사 시작 전에 한번만 구성하고, 이 보정 행렬을 PDP의 출력 칼라 검사에 계속 사용한다.

1 제안한 칼라 보정 방법

오프라인 작업은 칼라 보정 행렬을 구성하기 위해 영역 칼라 CCD 카메라와 색차계를 이용한다. 영역 칼라 CCD 카메라는 PDP에 출력된 적색, 녹색, 청색, 백색 테스트 칼라를 칼라 영상으로 획득한다. PDP의 출력 RGB 값을 (R_p, G_p, B_p) 라 하고 이에 대응하는 칼라 영상의 RGB 값을 (R_{CS}, G_{CS}, B_{CS}) 라 할 때 식 (1)과

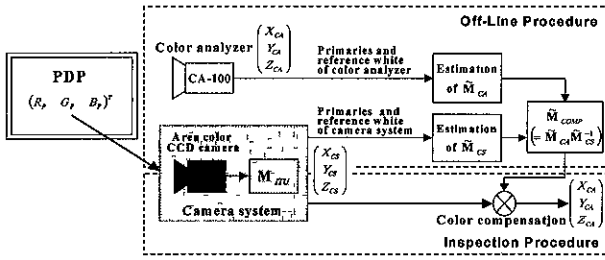


그림 2 제안한 칼라 보정을 이용한 비접촉식 칼라 검사장비의 전체 개요도

Fig. 2 Overall block diagram of non-contact color inspection system with proposed color compensation.

같이 나타낼 수 있다.

$$[R_{CS} \ G_{CS} \ B_{CS}]^T = D_C [R_P \ G_P \ B_P]^T \quad (1)$$

여기서 D_C 는 PDP의 출력 RGB 값과 획득된 칼라 영상의 RGB 값 사이의 왜곡으로 정의하고 3×3 행렬이다. 칼라 영상의 (R_{CS}, G_{CS}, B_{CS}) 는 중앙을 중심으로 100×100 화소들의 평균 RGB 값이다. 변환 행렬 M_{ITU} 에 의해 칼라 영상의 (R_{CS}, G_{CS}, B_{CS}) 는 삼자극치(tristimulus value) (X_{CS}, Y_{CS}, Z_{CS}) 로 변환된다.

$$[X_{CS} \ Y_{CS} \ Z_{CS}]^T = M_{ITU} [R_{CS} \ G_{CS} \ B_{CS}]^T \quad (2)$$

RGB에서 XYZ로의 변환 행렬 M 은 3×3 행렬이고,

$$M = [x_p] [C] \quad (3)$$

$$[x_p] = \begin{bmatrix} x_r & x_g & x_b \\ y_r & y_g & y_b \\ z_r & z_g & z_b \end{bmatrix} \quad [C] = \begin{bmatrix} C_r & 0 & 0 \\ 0 & C_g & 0 \\ 0 & 0 & C_b \end{bmatrix}$$

$$[C_r \ C_g \ C_b]^T = \frac{1}{y_w} [x_p]^{-1} [x_w \ y_w \ z_w]^T$$

로 주어진다^[5]. 여기서 (x_w, y_w, z_w) 는 기준 백색(reference white)의 (x, y) 색도좌표이며, (x_r, y_r, z_r) , (x_g, y_g, z_g) , (x_b, y_b, z_b) 는 RGB 원색(primary)의 (x, y) 색도좌표이다. M_{ITU} 는 ITU-R BT.709 원색과 기준 백색의 (x, y) 색도좌표를 이용하여 계산된다^[6].

PDP의 출력 칼라 (R_P, G_P, B_P) 와 이 때 영역 칼라 CCD 카메라에 의해 획득된 삼자극치 (X_{CS}, Y_{CS}, Z_{CS}) 사이의 관계는 식 (1)과 (2)로부터

$$[X_{CS} \ Y_{CS} \ Z_{CS}]^T = \tilde{M}_{CS} [R_P \ G_P \ B_P]^T \quad (4)$$

$$\tilde{M}_{CS} = M_{ITU} D_C$$

와 같이 정의한다. 여기서 행렬 \tilde{M}_{CS} 는 영역 칼라 CCD 카메라로부터 획득한 적색, 녹색, 청색, 백색 테스트 칼라의 (x, y) 색도좌표를 이용하여 식 (3)으로부터 추정할 수 있다. 즉 R원색은 적색 테스트 칼라를 PDP에 출력했을 때 획득한 칼라 영상에서 계산된 (x, y) 색도좌표로 정의한다. 녹색과 청색 테스트 칼라가 출력되었을 때의 (x, y) 색도좌표를 G와 B의 원색으로 정의한다. 위와 동일한 방법으로 백색 테스트 칼라가 출력된 경우에 계산된 (x, y) 색도좌표를 기준백색으로 정의한다. M_{ITU} 는 알고 있는 행렬이므로 \tilde{M}_{CS} 의 추정은 PDP의 출력과 획득된 칼라 영상 사이의 왜곡을 추정하는 것을 의미한다.

색차계를 이용하여 직접적으로 측정된 삼자극치를 (X_{CA}, Y_{CA}, Z_{CA}) 라고 할 때 PDP에 출력된 칼라와의 관계는

$$[X_{CA} \ Y_{CA} \ Z_{CA}]^T = \tilde{M}_{CA} [R_P \ G_P \ B_P]^T \quad (5)$$

로 주어진다. \tilde{M}_{CS} 와 동일한 방법으로, \tilde{M}_{CA} 는 PDP에 적색, 녹색, 청색, 백색 테스트 칼라가 출력될 경우 색차계에 의해 측정된 RGB 원색과 기준백색의 (x, y) 색도좌표를 이용하여 구성된다.

식 (4)와 (5)에서 PDP의 출력 칼라 (R_P, G_P, B_P) 는 동일하므로 영역 칼라 CCD 카메라에서 획득한 칼라 영상으로부터 계산된 (X_{CS}, Y_{CS}, Z_{CS}) 를 목표치인 색차계에 의해 측정된 (X_{CA}, Y_{CA}, Z_{CA}) 로 변환하기 위한 칼라 보정 행렬(\tilde{M}_{COMP})는 다음과 같이 계산된다.

$$[X_{CA} \ Y_{CA} \ Z_{CA}]^T = \tilde{M}_{COMP} [X_{CS} \ Y_{CS} \ Z_{CS}]^T$$

$$\tilde{M}_{COMP} = \tilde{M}_{CA} \tilde{M}_{CS}^{-1} \quad (6)$$

이러한 칼라 보정 행렬은 단지 주위 조명, 렌즈, 카메라 파라미터 등의 영상획득 환경이 변할 때만 다시 구성하면 된다. 그리고 검사과정에서는 제안한 칼라 보정 행렬(\tilde{M}_{COMP})을 영역 칼라 CCD 카메라에 의해 획득된 다양한 칼라 영상으로부터 계산된 삼자극치에 적용함으로써 색차계에 의해 측정된 삼자극치와 근접한 값을 제공받을 수 있다.

2. 최소 자승법을 이용한 칼라 보정

칼라 보정을 위한 기존의 연구에서는 최소 자승법을 이용한 수치 해석적 방법이 이용된다. 색차계를 이용하여 측정된 PDP에 출력된 칼라의 (x, y) 색도좌표를 (x_{CA}, y_{CA}, z_{CA}) 라 하고 이에 대응하는 획득한 칼라 영상의 (x, y) 색도좌표를 (x_{CS}, y_{CS}, z_{CS}) 라 할 때 식 (7) 과 같이 나타낼 수 있다.

$$[x_{CA} \ y_{CA} \ z_{CA}]^T = \tilde{M}_{LS} [x_{CS} \ y_{CS} \ z_{CS}]^T \quad (7)$$

여기서 최소 자승법을 이용하여 (x_{CA}, y_{CA}, z_{CA}) 와 (x_{CS}, y_{CS}, z_{CS}) 사이의 색차가 최소가 되는 칼라 보정 행렬(\tilde{M}_{LS})의 구성요소를 계산할 수 있다^[7] 칼라 보정 행렬(\tilde{M}_{LS})을 구성하기 위해 본 실험에서는 각각 10개의 테스트 칼라에 대한 색차계와 영역 칼라 CCD 카메라에 의해 측정된 (x, y) 색도좌표를 이용하였다.

IV. 실험결과

본 논문에서 제안한 칼라 보정 방법을 평가하기 위해 적색, 녹색, 청색, 백색 테스트 칼라와 24 Macbeth 시험 칼라를 사용하였고, 이에 대한 (u', v') 색도좌표를 그림 3에 나타내었다. 칼라 보정 전의 (u', v') 색도좌표를 그림 3(a)에 나타내었다. 제안한 칼라 보정 방법과 최소 자승법에 의한 칼라 보정 후의 (u', v') 색도좌표를 각각 그림 3(b)와 (c)에 나타내었다. 그림 3에서 나타낸 바와 같이 삼각형은 색차계에 의해 측정된 (u', v') 색도좌표를 나타내며, 사각형은 영역 칼라 CCD 카메라에 의해 획득된 (u', v') 색도좌표를 나타낸다. 색차계에 의해 측정된 (u', v') 색도좌표와 영역 칼라 CCD 카메라에 의해 획득된 (u', v') 색도좌표 사이의 색차($\Delta u'v'$)를 이용하여 제안한 칼라 보정 방법과 최소 자승법을 이용한 칼라 보정 방법의 성능을 평가하였다. 칼라 보정 전의 평균 색차($\Delta u'v'$)는 0.0397이다. 제안한 칼라 보정 방법과 최소 자승법을 이용한 칼라 보정 방법에 의한 평균 색차($\Delta u'v'$)는 각각 0.0030과 0.0236이다. 제안한 방법을 이용한 칼라 보정후 색차가 크게 감소하였다. PDP 영상 내에서 두 개의 인접 칼라 패치의 경우 색차($\Delta u'v'$) ≥ 0.004 , 떨어진 두 개의 칼라 패치의 경우 색차($\Delta u'v'$) ≥ 0.04 이면 인간 시각은 칼라의 변화를 구별할 수 있다^[8]. 그러므로 제안한 칼라 보정 방법에

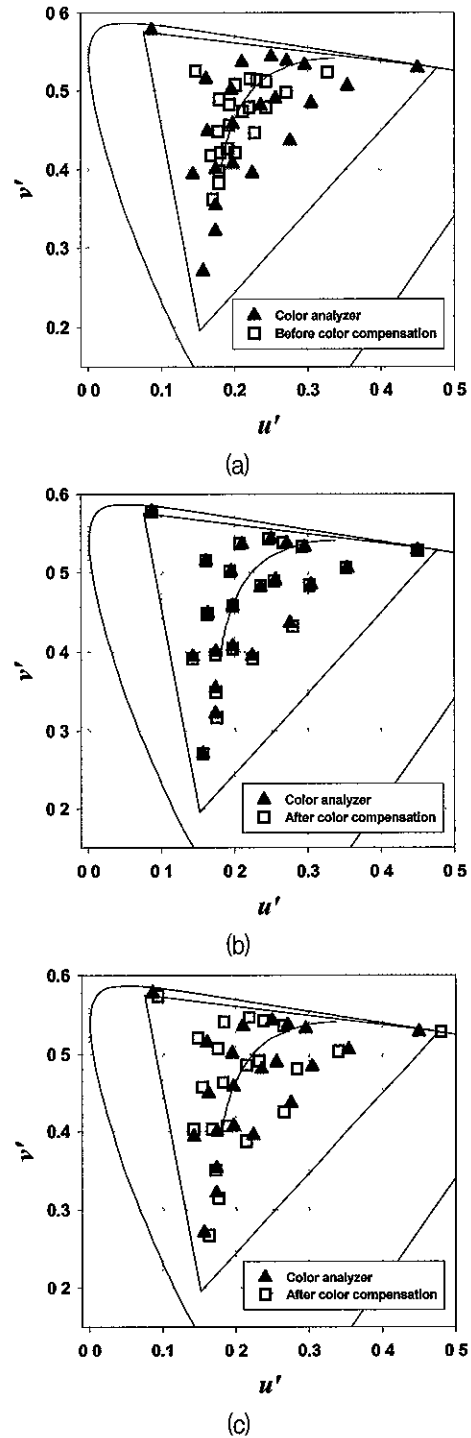


그림 3 적색, 녹색, 청색, 백색 테스트 칼라와 Macbeth 시험 칼라의 (u', v') 색도좌표 (a) 칼라 보정 전, (b) 제안한 방법을 이용한 칼라 보정후, (c) 최소 자승법을 이용한 칼라 보정후

Fig. 3 (u', v') chromaticity coordinates for the red, green, blue, white test colors, and Macbeth colorchecker colors; (a) before color compensation, (b) after color compensation by using proposed method, (c) after color compensation by using least square method.

의한 색차($\Delta u/v'$)가 너무 작아서 인간 시각에서 변별할 수 없을 정도이다.

V. 결 론

비접촉식 칼라 검사는 표면 접촉이 필요한 색차계를 대신하여 영역 칼라 CCD 카메라를 이용하여 수행되었다. 영역 칼라 CCD 카메라에 의해 획득된 삼자극치는 색차계에 의해 측정된 삼자극치와는 차이가 있다. 그래서 본 논문에서는 RGB 원색과 기준백색의 (x, y) 색도 좌표를 기본으로 하는 칼라 보정 방법을 제안하였다. 실험 결과에서 제안한 방법은 최소 자승법을 이용한 수치 해석적인 방법보다 적은 데이터를 이용하여 보다 효과적으로 칼라 보정을 수행할 수 있었다. 그리고 제안된 방법의 평균 색차($\Delta u/v'$)는 0.0030으로 인간 시각의 색차를 구별하는 문턱치보다 아래에 존재한다. 따라서 PDP의 비접촉식 칼라 검사에서 발생하는 색차를 효과적으로 줄일 수 있다.

참 고 문 헌

[1] 박명호, "PDP의 연구 개발 현황 및 시장동향," 전기전자재료학회지, 제13권, 제8호, 1-6쪽, 2000년 8월

[2] P.A. Keller, Electronic Display Measurement, John Wiley & Sons, 1999.
 [3] 양희수, 김재영, 박상호, 윤일동, 이상욱, "모니터 화면 검사를 위한 시각 시스템의 구현," 전자공학회논문지, 제33권 B편, 제2호, 65-75쪽, 1996년 2월
 [4] K. Keisuke, A. Toshiro, and M. Atsushi, Method for measuring cathode-ray tube chromaticity, Japan Patent, Publication number 01-255391, Dec. 1989.
 [5] C.B. Neal, "Television colorimetry for receiver engineers," IEEE Trans. on Broadcast and Television Receivers, pp. 149-162, Aug. 1973.
 [6] C. Poynton, Digital Video and HDTV Algorithms and Interfaces, Morgan Kaufmann Publishers, 2003.
 [7] G.W. Recktenwald, Numerical Methods with Matlab, Prentice Hall, 2000.
 [8] Flat Panel Display Measurements Standard Version 2.0, VESA Display Metrology Committee, 2001.

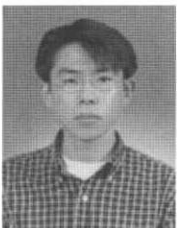
저 자 소 개



도 현 철(학생회원)
 2000년 2월 경일대학교 전자정보공학과 (공학사),
 2002년 8월 경북대학교 전자공학과 대학원(공학석사),
 2002년 9월~현재 경북대학교 전자공학과 대학원 박사과정,

<주관심분야: 컴퓨터비전, 패턴인식, PDP 영상처리 등>

진 성 일(정회원)
 대한전자공학회 논문지 제 39권 SP편 4호 참조



김 우 섭(학생회원)
 2002년 2월 경북대학교 전자공학과 (공학사),
 2004년 2월 경북대학교 전자공학과 대학원(공학석사),
 2004년 3월~현재 삼성전자 영상디스플레이사업부,

<주관심분야: 컴퓨터비전, PDP 영상처리 등>

태 흥 식(정회원)
 대한전자공학회 논문지 제 35권 D편 8호 참조